
Favoriser l'enseignement de l'algorithmique en mathématiques : une question de distance aux mathématiques ?

Supporting the teaching of algorithmic in mathematics: a question of distance to mathematics?

Mariam Haspekian et Claver Nijimbéré



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/2609>

DOI : 10.4000/educationdidactique.2609

ISSN : 2111-4838

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 19 décembre 2016

Pagination : 121-135

ISBN : 978-2-7535-5372-9

ISSN : 1956-3485

Référence électronique

Mariam Haspekian et Claver Nijimbéré, « Favoriser l'enseignement de l'algorithmique en mathématiques : une question de distance aux mathématiques ? », *Éducation et didactique* [En ligne], 10-3 | 2016, mis en ligne le 19 décembre 2018, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/2609> ; DOI : 10.4000/educationdidactique.2609

FAVORISER L'ENSEIGNEMENT DE L'ALGORITHMIQUE EN MATHÉMATIQUES : UNE QUESTION DE DISTANCE AUX MATHÉMATIQUES ?

Mariam Haspekian

EDA, université Paris Descartes. mariam.haspekian@parisdescartes.fr

Claver Nijimbéré

École Normale Supérieure du Burundi. njmbrclvr@yahoo.fr

Nous nous intéressons à la perception qu'ont les enseignants de mathématiques de l'entrée de l'algorithmique dans les programmes de mathématiques au lycée en France : quelles représentations ont-ils de ces nouveaux contenus scolaires ? Quelles difficultés disent-ils rencontrer dans la mise en œuvre de ces programmes ? Notre recherche révèle l'existence d'une tension dans les entretiens menés avec des enseignants de mathématiques, reflet des ambiguïtés des instructions officielles, entre deux approches possibles de l'algorithmique : l'une tournée vers les mathématiques, minimisant le contexte technologique, l'autre distante des mathématiques, tournée vers la programmation informatique. Nous faisons l'hypothèse que la connaissance de cette tension et la prise en compte de cette distance sont des éléments importants à considérer lors de la construction de scénarios de formation pour les enseignants de mathématiques afin de favoriser l'enseignement de l'algorithmique en classe de mathématiques.

Mots-clés : algorithmique, enseignement en mathématiques, informatique, technologie, distance instrumentale, formation des enseignants.

Supporting the teaching of algorithmic in mathematics: a question of distance to mathematics?

We are interested in the perception that mathematics teachers has of the introduction of algorithmic in the mathematics curricula at the high school in France: what are their representations of these new contents? Which difficulties do they declare they meet in implementing these programs? Our research reveals the existence of a tension in the interviews undertaken with mathematics teachers, reflecting the official instructions ambiguities, between two possible approaches of algorithmic: one turned towards mathematics, minimizing the technological context, the other one distant from mathematics, turned towards the data-processing programming. We make the assumption that the knowing this tension and taking into account this distance are significant components to be considered while building training sessions for the mathematics teachers in order to support the teaching of algorithmic in class of mathematics.

Keywords: algorithmic, mathematics teaching, computer science, technology, instrumental distance, teachers training.

INTRODUCTION

Depuis 2009, l'algorithmique a été introduite dans les programmes de mathématiques en France, conjointement à un rôle croissant donné au « numérique ». Cette évolution semble refléter les utilisations grandissantes de l'informatique dans la société. Selon Modeste (2012) ou Modeste, Gravier et Ouvrier-Buffet (2010), c'est en effet l'évolution des mathématiques elles-mêmes et la présence croissante de l'informatique et ses applications qui incitent les politiques éducatives à re-questionner l'enseignement des mathématiques. Cette introduction en classe de seconde, puis son extension ultérieure à tout le lycée en France, nous interroge alors sur les contraintes et difficultés de ce nouvel enseignement. Comment les enseignants perçoivent-ils ces nouveaux contenus ? Comment les mettent-ils en application et avec quelles difficultés ? Quelles formations proposer ?

Dans un premier temps, une analyse du « prescrit » à travers l'étude des programmes du lycée (Nijimbéré, 2011 ; Haspekian & Nijimbéré, 2012) révèle une polysémie du terme « algorithmique », naviguant entre mathématiques et informatique, cette dernière étant elle-même réduite à sa partie « technologique ». Nous avons alors, dans un second temps, interrogé des enseignants sur cet enseignement. L'analyse des entretiens menés montre que, si les liens qu'il aurait été nécessaire de clarifier entre ces disciplines sont absents des programmes, ils le sont tout autant des savoirs professionnels des enseignants. Leurs propos évoquent une tension mathématiques-informatique qui se révèle une difficulté pour eux. Les ambiguïtés des programmes entretiennent ainsi cette tension, ne favorisant pas l'enseignement de l'algorithmique en mathématiques.

Nous commençons par donner brièvement les résultats de l'analyse des programmes, ainsi que nos questions et méthodologie de recherche (sections 1.1 et 1.2). L'essentiel de cet article porte ensuite sur les entretiens menés (sections 2 et 3).

Une tension déjà présente dans les programmes

Loin d'éclairer les liens historiques et fondamentaux entre mathématiques et informatique, ainsi que la place de l'algorithmique dans chacune de ces disciplines, les programmes officiels mêlent, en les brouillant, deux approches possibles de l'algo-

rithmique : l'une tournée vers les mathématiques, en-dehors de tout contexte technologique, l'autre directement inscrite dans la programmation informatique et les technologies (l'annexe 1 montre des extraits du programme de 2^{nde}). L'algorithmique étant un élément d'intersection entre les mathématiques et l'informatique, les textes officiels auraient gagné à expliciter le rapport mathématiques-informatique, à clarifier les contours de l'un et de l'autre relativement à cette science et à ses concepts en œuvre (variables, constantes, boucles, complexité, finitude...). Modeste (2012) relève déjà dans les programmes une certaine ambiguïté des termes où « algorithme » et « programme informatique » semblent équivalents. Qu'en est-il chez les enseignants ? Que la notion d'algorithme fasse partie des mathématiques, cela ne fait de doute pour aucun enseignant de mathématiques¹. Enseigner l'« algorithmique », vue comme « branche des mathématiques étudiant les algorithmes », est ainsi tout à fait légitime. Cependant, l'« algorithmique » s'est aussi historiquement développée de questionnements propres à la programmation et à une réflexion plus générale sur ces objets de la communication homme-machine que sont principalement les algorithmes et leurs implémentations matérielles. Si cette « science des algorithmes », inscrite donc dans l'informatique, peut s'étendre bien entendu à une science plus générale des algorithmes inscrite aussi en mathématiques, ce qu'on entend généralement par « algorithmique » (dans ce qui la fonde et telle qu'elle est enseignée dans les universités en France ; voir Nguyen, 2005, p. 59) est donc bien « algorithmique informatique », étroitement liée à la programmation, contenant des savoirs qui sortent des mathématiques. De même, pour Briant (2013) :

« même si l'algorithmique est à dissocier de la programmation, les deux vont de pair et sont enseignés simultanément » (p. 80).

Nous avons relevé que les programmes en France jouent alors sur un glissement de termes entre algorithmique générale et algorithmique implicitement informatisée, ce qui amène au glissement entre « algorithme » mathématique (indépendant de toute programmation et qui fait indiscutablement partie des mathématiques pour les enseignants) et algorithme informatique. La thèse de Briant (2013) montre pourtant bien la distance qui sépare l'activité

initiale de résolution d'un problème mathématique, de sa programmation dans une machine (Fig. 1). Elle ajoute même une distinction supplémentaire entre algorithme informatisé (le langage « pseudo-code ») et « programme informatique » à proprement parler (en langage informatique).

Non seulement, rien de tout cela n'est expliqué dans les instructions officielles, mais au contraire les termes semblent entretenir les confusions par leurs

elle a une existence institutionnelle forte, mais elle propose une façon particulière de poser les questions qui n'est ni celle des mathématiques, ni celle de la physique, ni celle de la technologie. Centrée sur le traitement automatique de l'information, elle insère désormais l'homme dans la boucle de traitement au sein de réseaux complexes mélangeant humains et machines. » (p. 164.)

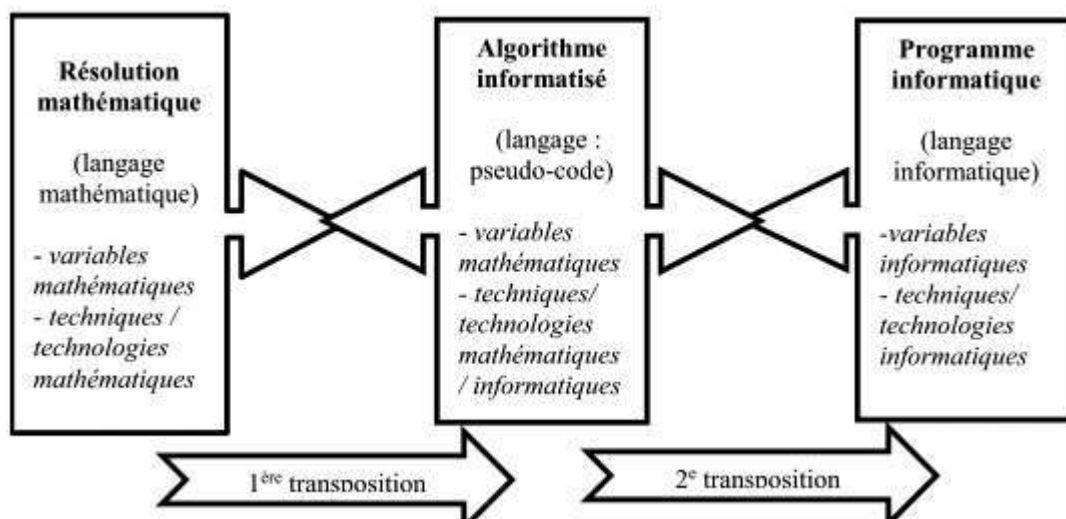


Fig. 1. – Briant (2013), p. 85 : « Double transposition de la résolution d'un problème mathématique en vue de sa programmation ».

caractères interchangeables. Or cette distinction est nécessaire pour l'enseignant afin d'avoir des moyens de contrôler et piloter son action dans les apprentissages visés. Il nous semble que pour un enseignant non expert de l'algorithmique, ou qui situerait d'emblée celle-ci uniquement dans un contexte informatique et technique, les programmes et documents d'accompagnement ne constituent pas un appui, ils contribuent au contraire à entretenir l'amalgame. Dans cet amalgame, la discipline informatique elle-même est malmenée en tant que champ scientifique. Loin d'être vue comme une discipline à part entière, elle semble réduite à sa partie « technologique ». Elle entre donc là de façon clandestine, par le biais de l'algorithmique en mathématiques, et n'est ainsi positionnée que de manière sous-jacente aux mathématiques, niée en soi. Or, comme le disent Baron et Bruillard (2001) :

« Il existe indubitablement une discipline informatique, non réductible aux autres. Non seulement

Nos questions

Quelle perception les enseignants de mathématiques ont-ils alors de ces nouveaux contenus ? Les intègrent-ils aux mathématiques ou les associent-ils à « TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), programmation » ? De nombreuses études ont montré déjà la difficile intégration des TIC elles-mêmes dans l'enseignement des mathématiques, en particulier lorsque ces technologies sont trop « éloignées » du monde mathématique des enseignants (voir par exemple les travaux sur le tableur dans Haspekian, 2005). De manière analogue, nous faisons l'hypothèse que les enseignants associant « algorithmique » uniquement à « TIC » entraînant des représentations de l'algorithmique comme étant trop *éloignée* des mathématiques, reprenant l'idée de distance telle qu'évoquée pour le cas du tableur (*op. cit.*), intégreront difficilement cet enseignement dans leurs pratiques. À l'inverse, les enseignants ayant une représentation de l'algorithmique

mique proche des mathématiques s'approprient et intégreront plus volontiers cet enseignement. Ces hypothèses ont une importance cruciale en termes de formation car alors une formation sur l'algorithmique aura plus ou moins d'impact sur les pratiques suivant qu'elle intègre l'activité algorithmique aux mathématiques (sans pour autant occulter une activité de programmation) ou bien qu'elle présente l'algorithmique sous un aspect technologique seul baignant dans le monde « numérique ».

Ces questions font l'objet de notre recherche actuelle, nous rapportons ici une première idée de réponse concernant les représentations et pratiques en algorithmique à partir d'entretiens menés avec cinq enseignants de mathématiques. Ceux-ci n'ont pas été réticents à introduire l'algorithmique dans leur enseignement, avec cependant des motifs divers d'« adhésion » et des discours reflétant néanmoins une tension mathématiques-informatique (technologique) reflet des ambiguïtés des instructions officielles. Nous verrons que pour la plupart cette tension gêne leurs pratiques : les représentations accolant l'algorithmique à la programmation, les pratiques ont du mal à intégrer l'algorithmique car elles ont tendance à rejeter cette activité de programmation. Seul un des enseignants interrogés ne voit pas ce rapprochement comme un frein car il est par ailleurs très favorable aussi à l'intégration de l'informatique...

Notre méthodologie

Nous avons mené des entretiens avec des enseignants en classe de 2^{nde} : deux hommes (H1, H2) et trois femmes (F1, F2, F3), provenant de trois lycées différents et qui nous ont dit être motivés pour l'enseignement de l'algorithmique. Ces enseignants ont été choisis parmi une trentaine de participants à une formation académique sur l'enseignement de l'algorithmique, ce sont les seuls qui ont favorablement répondu à la demande d'entretien.

La méthode d'entretiens semi-directifs a été privilégiée dans le sens où elle offre des opportunités aux différents interviewés d'exprimer leur point de vue (Darricarrère & Bruillard, 2010). Ces derniers, en répondant librement aux thèmes soulevés, révèlent d'autres points auxquels l'intervieweur n'avait pas pensé *a priori*. L'intervieweur, quant à lui, a aussi les possibilités de relancer des questions pour avoir

plus de précisions sur les nouveaux points évoqués qu'il juge importants. Des enregistrements audio des entretiens, d'une heure environ chacun, ont été transcrits, codés et analysés suivant une grille construite *a posteriori* (annexe 2).

Nous présentons ci-après ces résultats (section 2) : les entretiens décrivent, malgré une image *a priori* positive du nouveau programme, des résistances à l'algorithmique, ressentie comme distante des mathématiques à enseigner. La section 3 discutera de ces résistances et de cette « distance » aux mathématiques. Les pages indiquées réfèrent aux annexes de Nijimbéré (2011), dans lequel figurent les transcriptions de ces entretiens.

UNE TENSION DANS LES PROPOS DES ENSEIGNANTS

Comme nous allons le voir, on notera dans ces entretiens une image au départ plutôt positive du nouveau programme qui se révèle au final pas si nette : les ambiguïtés du programme évoquées plus haut se reflètent en tensions dans les propos des enseignants (section 2.1) et, plus précisément quand ils décrivent leurs pratiques face aux contraintes et difficultés rencontrées (section 2.2), montrant finalement que l'algorithmique reste une activité ressentie comme distante des mathématiques à enseigner (section 3), même chez ces enseignants *a priori* très volontaires.

L'objectif de la section 2.1 est de montrer la tension qui se manifeste dans les discours généraux des enseignants, l'algorithmique étant ressentie comme accolée à « programmation ». La section 2.2 se centre quant à elle sur ce que génère cette tension comme pratiques et difficultés d'enseignement.

L'algorithmique ressentie comme connectée à la programmation

Cette connexion se manifeste dans les propos par une inscription de l'algorithmique dans un environnement machine, des débats sur la programmation informatique et une tendance à la résistance.

L'algorithmique inscrite dans un environnement machine

Les représentations qu'ont les enseignants de l'algorithmique influencent leurs pratiques d'ensei-

gnement. Or, les entretiens montrent que, quels que soient les variabilités dans les discours tenus sur l'algorithme (au niveau des contenus identifiés et de la façon de l'introduire, des apports cités, ou encore des ressources utilisées), celle-ci est toujours pensée en relation avec les outils et l'informatique. Cette inscription dans un environnement machine n'est jamais questionnée, comme si elle allait de soi.

Les contenus algorithmiques identifiés varient en effet d'un enseignant à un autre : ils vont de la notion de variable aux boucles itératives en passant par les instructions simples, et parfois utilisés dans la résolution de problèmes. La façon d'introduire l'algorithme par rapport aux autres contenus mathématiques varie également : trois des professeurs l'introduisent à travers d'autres chapitres du programme, tandis que les deux autres utilisent des séances dédiées. Mais au-delà de ces variabilités, ces contenus ne sont pour aucun des enseignants interviewés déconnectés d'un environnement « machine » et l'introduction de l'algorithme reste pour tous pensée en lien avec l'outil informatique. Par exemple, F3 nous décrit que dans ces séances, l'élève doit : « être capable de *programmer* un calcul itératif dont le nombre d'itérations est déjà donné, de *programmer* une instruction conditionnelle ». (F3, p. 5-6).

Le rôle attribué à l'algorithme pour l'apprentissage des mathématiques varie également : soit une aide comme une autre, qui ne changera pas fondamentalement le rapport des élèves aux mathématiques, soit un véritable renouveau dans l'enseignement des mathématiques pour son caractère innovant (motivant élèves et professeurs) ou formateur (pour acquérir logique et rigueur) : « Ce programme me plaît parce qu'il introduit la nouveauté [...] j'ai horreur de la routine ! » (F3, p. 11), ou encore : « ça peut obliger à avoir un peu plus de rigueur dans leur façon de raisonner, de bien détailler chaque étape. [...] Peut être que ça leur a donné un peu plus de rigueur dans leur travail » (F1, p. 7). Mais là encore, les apports cités sont immédiatement mis en regard de la calculatrice ou du manque de matériel technologique (« le programme est innovant mais ne s'accompagne pas de mesures matérielles qui permettent l'égalité de chances de tous », F3, p. 19). Au fil des discours, nous verrons par ailleurs que même ces apports sont peu à peu remis en cause (section 2.1.3).

Au niveau des ressources utilisées, les textes officiels aident peu les enseignants dans leur préparation (« j'ai trouvé un peu plus difficile sur l'algo-

rithmique le guide d'accompagnement par rapport à nos élèves, un peu trop ambitieux », H1, p. 4) et les ressources auxquelles les enseignants ont recours varient alors. Mais à nouveau, quelles que soient les sources d'inspiration, les enseignants interviewés pensent tous qu'on les force à recourir à des outils informatiques : « jusqu'au nouveau programme, il est conseillé d'utiliser le matériel informatique, maintenant, ce n'est plus un conseil, c'est une obligation ! Parce qu'il faut qu'absolument les élèves aient une familiarité avec l'outil informatique. » (H2, p. 2-3). En l'occurrence ce matériel se restreint, pour tous les enseignants interrogés ici à la calculatrice qui sera finalement le seul outil pratiqué. Pour F3, H1 et H2 par exemple, des exercices concernant la construction des algorithmes simples et leur programmation de la calculatrice sont proposés aux élèves : « les élèves doivent être capables d'écrire un programme permettant un calcul, un programme calculant et donnant la valeur d'une fonction ainsi que les instructions d'entrée sortie nécessaires au traitement » (F3, p. 5). Ils soulignent l'importance de « pouvoir constater par soi-même qu'on s'est trompé avec la calculatrice » (H1, p. 3). Les enseignants donnent diverses raisons à leur non-utilisation de logiciels en salle informatique. F1 et H2 par exemple l'expliquent par l'impossibilité de mettre en demi-groupe les élèves, ou l'insuffisance des postes informatiques. Un bon encadrement des élèves en travail individuel est pour eux primordial. La calculatrice est alors plus accessible comme outil pour tester l'exactitude sinon des algorithmes du moins de leur programmation, mais les enseignants tiennent à souligner qu'elle ne remplacera jamais une démonstration mathématique papier-crayon : « ça introduit un objet qui fait foi, la calculatrice. [...] Le professeur va s'appuyer là-dessus. Il dira "tu vois, t'as mal programmé les choses parce que la calculatrice te répond pas correctement !" » (H1, p. 10), « l'outil informatique est une aide, ça ne remplacera jamais une démonstration mathématique. Ça leur permet de voir si oui ou non, ce qu'ils ont fait est juste » (H2, p. 10).

Ce lien avec la programmation fait qu'au final, la place à accorder à l'algorithme dans les progressions reste pour la plupart petite (environ 10 % du temps d'enseignement). On note alors une tendance à la « résistance » de la part des enseignants, plus ou moins grande suivant la place qu'ils veulent précisément bien accorder à la programmation !

La programmation informatique en débat

Les enseignants affichent des représentations différentes quant à la place de la programmation dans leur enseignement de mathématiques. Certains acceptent l'algorithmique pour son intérêt de travailler la logique, mais, bien que l'inscrivant implicitement dans un contexte machine, expriment une tension face aux aspects programmation qu'ils ont tendance à rejeter : « moi, j'apprécie l'algorithmique en tant que logique. Ce qui m'intéresse moi dans l'introduction de l'algorithmique est l'introduction à la logique parce que c'est très logique l'algorithmique. [...] Par contre, ce que je trouve totalement ridicule c'est d'aller jusqu'à la programmation » (F2, p. 11-12). D'autres vont se situer au contraire dans la programmation qui devient le centre de l'algorithmique et affirmer, ce faisant, qu'ils travaillent là l'informatique : « j'ai toujours apprécié l'informatique et le côté programmation surtout, c'est ça qui m'intéresse en informatique. [...] Si je leur donne un travail par exemple à faire à la maison, un devoir où il faut construire un algorithme, ils écrivent l'algorithme puis m'écrivent aussi le programme qu'ils doivent entrer sur la calculatrice » (H1, p. 8).

La conception ci-dessus de H1 de l'algorithmique comme champ plus proche de l'informatique que des mathématiques, se confirme lorsqu'il évoque le travail donné à ses élèves d'écrire l'algorithme calculant les coordonnées du milieu d'un segment : « c'est pas parce qu'on va utiliser l'algorithme que ça dispense de connaître à temps les mathématiques, puisque on a besoin quand-même, pour connaître les coordonnées du milieu, de savoir qu'il faut additionner les coordonnées des extrémités et diviser par deux, donc faire la demie-somme. Ben, si on sait pas ça on peut pas avancer ! » (H1, p. 10). Les propos de H1 distinguent clairement l'algorithmique des mathématiques : ici, la partie « algorithme » du travail (« c'est pas parce qu'on va utiliser l'algorithme ») n'est pas considérée comme faisant partie des mathématiques (« que ça dispense de connaître à temps les mathématiques »). Celles-ci sont nécessaires, bien présentes mais déconnectées, et situées en amont : savoir additionner les coordonnées des extrémités et diviser par deux pour connaître celles du milieu.

Une tendance à la résistance des enseignants

Le manque de formation, les contraintes matérielles, techniques et une surcharge de travail sont les

principales difficultés déclarées par les professeurs. Néanmoins, une forme d'inquiétude des enseignants de mathématiques, révélatrice d'une certaine résistance à l'enseignement de l'informatique, accompagne ces contraintes : « la crainte c'est qu'on devient de plus en plus prof d'informatique alors qu'on pouvait être prof de maths sans faire l'informatique. Donc il y a cette inquiétude-là » (F1, p. 6).

La raison principale à l'utilisation des outils informatiques (elle motive les élèves) est vue comme extérieure aux mathématiques. Cette motivation elle-même, bien que soulignée par tous les enseignants, est finalement jugée relative. H2 précise qu'elle se limite à la partie informatique du cours et se perd lors du retour au travail « à la main » : « s'il n'y avait pas la partie informatique, alors là, ça serait la désolation ! Ils veulent utiliser cet outil-là quoi ! [...] Taper le programme ! Mais avant de taper un programme, il faut qu'on cherche, il faut qu'on sache quel type de traitement ! » (H2, p. 14.)

Ainsi, malgré la volonté d'innover en introduisant l'algorithmique, même en étant favorables à l'informatique dans l'enseignement, des critiques du programmes ne manquent pas chez les enseignants. Selon eux, des programmes à la fois innovants et surchargés mettent les enseignants dans la course permanente sans fondamentalement changer les apprentissages. F2 compare ces réformes incessantes à un « amusement » du fait qu'elles ont lieu sans étude préalable des effets des programmes précédents.

Trois des enseignants, F1, F2 et H1, s'interrogent sur le caractère plus formateur de l'algorithmique que celui de la géométrie, cette dernière s'étant vue amputée d'une grande partie de ses contenus au profit de l'algorithmique. Au fil des discours, les enseignants reviennent même sur l'idée de renouveau perçue au départ. Selon H1, ces outils ont une condition vitale qui est le travail papier-crayon : « on n'est pas toujours avec un ordinateur sur soi, une calculatrice avec soi, donc dans ces moments-là il faut toujours avoir un papier et un crayon sur soi pour pouvoir faire le travail. Si on sait pas le faire avec le crayon et le papier, on sera toujours démuni. [...] Parce qu'il y a toujours ce côté recherche, rigueur, se casser la tête qu'on aura toujours en mathématiques quels que soient les supports auxquels on a à faire face. » (H1, p. 11.)

Enfin, les difficultés conceptuelles rencontrées par leurs élèves sont grandes et leur enseignement peut paraître prématuré. Même F2, celle qui déclarait le plus l'intérêt de l'algorithmique pour la logique et

la rigueur, finit par se demander si l'algorithmique a un intérêt : « *Il me semble que là on les prend un peu jeunes et que c'est un peu dur pour eux. [...] Je sais pas vraiment si ça a un intérêt* » (F2, p. 14). Nous nous penchons plus précisément sur ces difficultés dans le paragraphe suivant.

Difficultés déclarées dans la mise en œuvre de cet enseignement

Les enseignants mentionnent des contraintes et difficultés dans leur introduction de l'algorithmique qui sont habituellement celles soulevées lors des discours autour de l'intégration des TIC : augmentation du temps de préparation, manque de formation, perte de temps dans la mise en place du matériel informatique, notions trop consommatrices en temps au détriment des autres notions à enseigner, manque de matériel... À cela, s'ajoutent aussi des difficultés nouvelles liées aux conceptualisations des élèves en algorithmique face auxquelles les enseignants apportent des réponses communes.

Des difficultés déclarées similaires aux discours habituels sur les TIC

Le fait d'accoler algorithmique à programmation a aussi pour conséquence de percevoir cette activité comme consommatrice en temps de travail. Les expressions comme « *augmenté considérablement* », « *tension permanente* », « *quasiment étranglé* », sont utilisées par les enseignants pour qualifier leur temps de travail (préparation ou correction de travaux d'élèves) avec ce nouveau programme : « *l'introduction de l'informatique et de l'algorithmique, nous a, en tant que profs de mathématiques, augmenté considérablement le temps de préparation. Donc, actuellement, nous sommes quasiment étranglés !* » (F3, p. 21) ; « *j'ai beaucoup de difficultés à corriger des erreurs mathématiques, etc. sur l'écran. Comme j'ai pas d'imprimante chez moi, je le fais au lycée. Je l'imprime au lycée, je le lis et je fais mes corrections sur ça. Ça, ça prend plus de temps que si je le faisais faire sur papier* » (H2, p. 14).

Reliant l'algorithmique à l'informatique, les enseignants interrogés affirment aussi ne pas disposer de formation requise pour l'enseigner : « *l'algorithmique est, pour moi, totalement décalée par rapport à ma formation initiale. [...] Je me sens compétente en algo-*

algorithmique beaucoup moins puisque la formation que j'ai est une formation d'autodidacte » (F3, p. 2-3) ; « *essentiellement en autodidacte [...] à l'époque il n'y avait pas tellement de cours d'informatique. [...] On est obligé de travailler par semaine énormément quoi ! Surtout donc avec des livres et avec des collègues qui ont passé du temps sur les logiciels, qui connaissent et qui peuvent t'indiquer comment on pourrait l'utiliser* » (H1, p. 2).

Enfin, certains enseignants affirment travailler dans des conditions matérielles difficiles. Le manque d'ordinateurs en nombre suffisant dans les salles informatiques, la non disponibilité de la salle et les pannes techniques non réparées, sont les principaux problèmes mis en évidence.

À côté de ces difficultés usuellement mentionnées dans les discours sur l'intégration des technologies, des difficultés propres à l'algorithmique sont mentionnées : celles conceptuelles des élèves et plus particulièrement les variables et leur affectation.

Des difficultés conceptuelles des élèves en algorithmique

Les enseignants interrogés comparent les difficultés des élèves en algorithmique et leur hétérogénéité face à ces difficultés à celles habituellement vécues par les débutants en algèbre : « *curieusement, pour des gamins qui sont habitués à manipuler les ordinateurs, l'algorithmique leur pose de vrais problèmes conceptuels [...]. Finalement l'algorithmique leur fait le même effet que l'algèbre en 4e. (...) C'est le genre de difficulté conceptuelle qui est vraiment difficile à mesurer.* » (F2, p. 12) ; « *il y en a qui déjà ont un bon niveau de pratique : en quelques minutes, certains arrivent à programmer leur calculatrice, à faire que leur algorithme tourne. Ils arrivent à donner des données aux variables de façon intelligente... alors que d'autres ont à peine débuté quand les autres finissent* » (H1, p. 7) ; « *c'est comme, c'est un peu comme si je démarrais l'algèbre quoi ! J'ai rencontré le même genre de difficultés que j'ai rencontrées quand j'étais en collège quand je démarrais l'algèbre* » (F2, p. 8).

La planification du travail et l'organisation des idées pour résoudre un problème sont aussi mentionnées : « *je crois que c'est mettre en ordre la pensée toujours, arriver à construire un schéma rigoureux pour pouvoir arriver au résultat qui est demandé ! Alors déjà, il y en a beaucoup qui n'ont pas compris la consigne, qui ne savent pas à quel résultat on doit aboutir.* » (H1, p. 10.)

Selon H2, les difficultés des élèves en algorithmique se situent au niveau de la construction de l'algorithme, ici pris au sens directement de « programme informatique » : « il y a le programme purement informatique qu'ils devraient taper et tout ce qui est traitement, tout ce qu'il faut faire, etc. Pour eux, c'est toujours le barrage insurmontable, eux, ce qu'ils voudraient c'est qu'on donne directement le programme » (H2, p. 10).

Une difficulté particulièrement soulignée est l'affectation des variables. On peut trouver dans Nguyen (2005) une synthèse des travaux déjà effectués sur l'apprentissage de notions informatiques en lien avec les mathématiques : boucle, structures itératives, codages dans différents systèmes de représentation et de traitement..., synthèse qui souligne la nécessité d'une « alphabétisation » (Rogalski, 1985) en informatique avant d'entrer dans une activité de programmation. Les instructions officielles ne permettent pas aux enseignants de réaliser, ni de prendre conscience, de cette alphabétisation et des difficultés conceptuelles sous-jacentes propres à ces notions.

Parmi ces difficultés conceptuelles pour les élèves (et les enseignants) se trouve le processus d'affectation de variables ainsi que les liens à éclaircir entre la notion de variable informatique (emplacement dans la mémoire de l'ordinateur destiné à stocker des données effaçables²) et la notion de variable en mathématiques. Variables et affectation de variables sont des connaissances informatiques qui peuvent entretenir des confusions avec des connaissances algébriques fragiles chez les élèves. Les difficultés en algèbre et la non distinction des objets et processus sont bien évidemment des obstacles auxquels l'enseignement de l'algorithmique sera confronté. En 1985, Renan Samurçay soulignait déjà cette distinction complexe, nécessaire et qui pose problème, aussi bien pour la notion de variable que pour le processus d'affectation des variables :

« La planification du traitement des variables dans une répétition est de loin l'activité la plus significative dans la conceptualisation des notions de variable et de boucle. C'est surtout dans cette dernière activité que le concept de variable informatique apparaît différent de celui de variable mathématique (symbole représentant un élément non spécifié ou inconnu d'un ensemble), et que l'opération d'affectation (relation asymétrique) diffère de la relation d'égalité (évidemment symétrique). » (Samurçay, 1985, c'est nous qui soulignons.)

L'enseignante F2, qui a choisi de passer beaucoup de temps avec les élèves au travail « à la main » sur des notions algorithmiques, affirme avoir déjà fait quelques structures (de branchement ou itératives). Elle précise que ses élèves ont eu des difficultés à comprendre l'opération d'affectation : « j'ai commencé très simple, puis petit à petit j'ai commencé doucement des algorithmes tout simples "faire ceci", "faire cela", "afficher", "terminer"... Prend la valeur x étal temps, dans le livre, ils appellent ça prend la valeur, le fait d'affecter quelque chose. Ça, ça leur a posé curieusement plus de problèmes le fait de mettre une donnée dans une zone. Après on a passé un temps sur "Si... Alors... Sinon" puis aux boucles "Pour" et "Jusqu'à" » (F2, p. 4).

On notera que là encore dans sa description, l'instruction propre à la programmation « afficher » est citée sans discernement à côté des autres notions. L'enseignante a-t-elle conscience d'être d'emblée dans la programmation ? Est-ce ce qu'elle a souhaité ? Pourtant F2 est bien celle qui disait (section 2.1) « trouver totalement ridicule d'aller jusqu'à la programmation ».

Des réponses communes dans les pratiques déclarées en algorithmique

Face à ces difficultés, les enseignants adoptent alors quelques réponses communes dans leurs pratiques : réduction de la partie « cours » à proprement dit, augmentation de la partie exercices, voire relégation de l'algorithmique au travail à la maison.

Les cours « magistraux », décontextualisés, sont en effet réduits au profit de travaux dirigés, travaux pratiques, exercices, activités introductrices, il y a peu de savoirs institutionnalisés : « soit on lit des algorithmes, on les comprend, on les complète, ou on les corrige, je n'en ai pas encore écrit un » (F3, p. 3) ; « on fait beaucoup d'exercices, on lit des algorithmes, pour l'instant, on s'est pas rendu une seule fois en salle informatique pour les écrire, j'attends ! [...] Quand on aura fini de lire et d'analyser ceux qu'on a, je leur demanderai d'en écrire les plus faciles sur papier et on ira les faire en salle informatique » (F2, p. 4).

L'algorithmique trouve ainsi plus largement sa place dans les exercices, en partie à faire à la maison. Pour les uns, comme F2, ce sont des exercices d'application, pour d'autres des exercices qui demandent un peu plus de réflexion. Les élèves se retrouvent ainsi

avec beaucoup de travaux à faire. Cependant l'algorithmique est si fortement perçue comme nécessitant la programmation que peu d'enseignants notent ces devoirs maison, avec l'argument que certains élèves n'ont pas d'ordinateur chez eux (« *je peux même pas demander de faire des exercices sur ordinateur non plus. Je ne sais pas ceux qui ont un ordinateur* », F2, p. 10). Ceux qui le font, utilisent alors la calculatrice : « *si je leur donne un travail par exemple à faire à maison, un devoir où il faut construire un algorithme, ils écrivent l'algorithme puis m'écrivent aussi le programme qu'ils doivent entrer sur la calculatrice* » (H1, p. 7).

En conclusion, les enseignants ressentent l'introduction de l'algorithmique comme un domaine en tension entre deux pôles distants non connectés, les mathématiques et l'informatique. Cette distance génère des difficultés d'enseignement face auxquelles ils opèrent des choix dans leurs pratiques. Les difficultés (cette distance) et les choix déclarés (tentatives pour la réduire) ressemblent à ce qui est évoqué face à l'introduction des « TIC » en général. Nous examinons cela dans la section 3.

ANALOGIE AVEC UN PHÉNOMÈNE DE DISTANCE INSTRUMENTALE. DISCUSSION

Distance aux mathématiques et réduction de la distance

L'usage des outils informatiques est noté positif par les enseignants pour la motivation des élèves (véhiculant même une passion pour certains) mais aussi pour le travail qu'il permet sur la notion de preuve, l'outil aidant la vérification, il amène à réfléchir sur les calculatrices et sur ce qui « fait foi » en mathématiques. À côté de ces effets positifs, l'algorithmique pose aussi de sérieuses difficultés conceptuelles déjà notées dans de précédentes recherches (p. ex. Rogalski, 1985) : logique, rigueur, déconstruction d'un problème en éléments élémentaires ou encore difficultés d'affectation des valeurs dans les variables, difficultés notées aussi dans le travail de Nguyen (2005), certaines en lien avec les difficultés en algèbre. Face à ces difficultés, les textes institutionnels offrent peu de réflexion et, même, entretiennent des confusions. Nous avons vu que les programmes et documents d'accompagnement mêlent indistinctement algorithmique et écriture de programmes à implémenter en machine. Cette

« pollution » technologique ressort également des entretiens des enseignants et ne les aide pas à clarifier ce qui relève des mathématiques de ce qui relève de la programmation informatique ou de questions liées aux interactions entre une machine et un utilisateur. Dans leurs discours, l'algorithmique est implicitement ancrée dans la technologie, attestant que les frontières entre algorithmique et programmation sont floues et méritent d'être précisées. Entre mathématiques et informatique, l'algorithmique est un nœud de tension et les représentations des enseignants l'inscrivent du côté de l'informatique. On distingue clairement cette tension dans les propos cités plus haut de F1 ou F3 où l'informatique, et dans le même mouvement l'algorithmique, sont ostensiblement mises en opposition avec les mathématiques : « *la crainte c'est qu'on devient de plus en plus prof d'informatique* », « *alors qu'on pouvait être prof de maths sans faire l'informatique.* » (F1) ; « *l'introduction de l'informatique et de l'algorithmique, nous a, en tant que profs de mathématiques, augmenté considérablement le temps de préparation* » (F3). Les enseignants interrogés résolvent cette tension par deux attitudes différentes : tendre vers cette vision de l'algorithmique (certains comme nous l'avons vu la critiquent tout en proposant des travaux concernant la conception et la programmation des algorithmes sur calculatrice, centrale dans cet enseignement) ou bien « résister » plus fermement à un enseignement baigné de technologies pour tendre vers des mathématiques ressenties comme plus « légitimes » (en insistant, par exemple, sur les travaux à la main comme nous l'avons vu également). Dans cette tension, quel que soit le côté vers lequel les enseignants basculent, les pratiques déclarées, si elles mentionnent des difficultés propres, soulèvent par ailleurs le lot des difficultés habituellement mentionnées pour l'intégration des nouvelles technologies dans l'enseignement des mathématiques.

Dans les représentations des enseignants, l'algorithmique est ainsi « distante » des mathématiques et nous faisons l'hypothèse que c'est cette distance qui est à l'origine des résistances. La notion de *distance instrumentale* est utilisée dans Haspekian (2005) pour expliquer les difficultés d'intégration des technologies dans l'enseignement des mathématiques. En didactique des mathématiques, ces difficultés ont été analysées comme provenant entre autres de la non neutralité de ces outils sur les mathématiques à enseigner (techniques, objets et symbolisations modi-

fiées, apparition de nouveaux objets et symboles, de nouvelles techniques...) et de la sous-estimation de cette non-neutralité de l'instrument sur les concepts (Artigue, 2002). Des aspects sociaux, culturels et épistémologiques contribuent également à créer de la distance. Le tableur est un exemple d'outil embarquant une distance instrumentale plus grande que les logiciels de géométrie dynamique par exemple (Haspekian, 2005). Dans le cas du tableur, les résistances des enseignants sont ainsi en partie attribuées à cette trop grande distance, générée par l'instrument, entre les mathématiques telles que les enseignants les conçoivent et celles que l'instrument induit. Nous voyons dans le cas de l'algorithmique telle qu'elle est perçue une analogie avec ce phénomène de distance dans les résistances des enseignants.

Contrairement au tableur, l'algorithmique n'est pas un nouvel « instrument » mais un nouveau « domaine » à enseigner ; elle ne peut donc générer en soi de distance *instrumentale*. Mais si elle est, dans les conceptions des enseignants, plus proche des technologies informatiques que des mathématiques, des phénomènes de résistance analogues à ceux créés par la distance instrumentale pourront s'observer. Le domaine entier est perçu comme distant des mathématiques telles que les enseignants les conçoivent, c'est finalement très similaire au cas du tableur où c'est la génération de nouveaux objets, perçus comme distants de la discipline à enseigner, qui gêne les enseignants. Comme nous l'avons vu, cette résistance est manifeste chez les enseignants interrogés ici, pourtant volontaires pour s'approprier ce programme. Nous faisons l'hypothèse que pour beaucoup d'autres enseignants, cette pollution technologique peut constituer d'emblée un frein, les enseignants de mathématiques se sentant tout aussi peu « légitimes » à enseigner l'algorithmique que l'informatique et la tension se résolvant par un rejet plus net. La recherche sur le tableur montre à quel point ce sentiment de légitimité a un rôle dans les questions d'intégration de nouveautés.

Pour gagner en légitimité, on a constaté, chez les enseignants ayant intégré le tableur avec succès, des pratiques visant à réduire la distance instrumentale (Haspekian, 2014). Dans le cas de l'algorithmique, il est alors intéressant de constater qu'à nouveau naissent des phénomènes de *réduction de la distance*. Les choix opérés par les enseignants (section 2.2.3) vont ainsi en ce sens. Par exemple, pour redonner à l'algorithmique une certaine légitimité dans l'ensei-

gnement des mathématiques, mises en concurrence avec l'informatique, nous avons vu que chez trois des enseignants, l'algorithmique est enseignée à l'intérieur des autres parties du programme de mathématiques sans constituer de chapitre à part, comme le préconisent les instructions officielles. Son évaluation est elle aussi transversale (F2, p. 5 : « *j'ai pris l'habitude et dans chaque contrôle, je mets un exercice d'algorithmique* »). Une autre réponse commune était la part d'exercice à la main. Nous avons vu que pour tous, l'essentiel des activités proposées concerne surtout des exercices « à la main » sur des algorithmes donnés. Certains algorithmes sont ensuite pour certains programmés et exécutés sur une machine, mais plutôt que d'introduire d'autres logiciels ou langages nouveaux qui accentueraient la distance avec les mathématiques, le choix se porte alors uniquement sur la calculatrice, celle-ci occupant une place déjà centrale en mathématiques (seule F2, la plus volontaire pour l'informatique, déclare projeter d'aller dans le futur en salle informatique). Des écarts dans ce travail donné aux élèves sont notables et on peut les rapprocher du rapport personnel de l'enseignant à l'algorithmique. Certains font simplement exécuter de petits algorithmes sur la calculatrice, d'autres demandent de programmer et exécuter sur la calculatrice des algorithmes plus conséquents. Tous insistent, en classe comme en devoir maison, sur le travail en papier-crayon des élèves. Enfin, nous avons vu une autre réponse commune qui était la relégation de la partie algorithmique à une pratique de « devoirs à la maison », ce qui est là encore une façon de minimiser la distance aux mathématiques gênante en classe.

Fusion dans les autres parties plus traditionnelles du programme de mathématiques, déplacement vers une activité de devoirs à la maison, en papier-crayon, et limitation des outils à la seule calculatrice, laquelle semble moins « distante » que des logiciels et un ordinateur, sont tous des moyens de réduire la distance instrumentale qu'engendrerait un enseignement de l'algorithmique perçu comme inscrit en informatique ou, du moins, dans un environnement numérique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En conclusion, les textes officiels n'aidant pas les enseignants à avoir une vision éclairée des attendus en algorithmique, la place de cette dernière, entre mathématiques et informatique, reste floue. Les problématiques relevant de l'une ou de l'autre ne sont pas distinguées, ni les caractères outil ou objet du concept même d'algorithme. Ce rapport « institutionnel » à l'algorithmique, qui se reflète dans les représentations enseignantes, est à rapprocher de travaux sur l'algorithmique dans les manuels ou dans les sujets d'examen de baccalauréat. En effet, le travail de Modeste (2012) montre que la tension mathématiques-informatique se résout dans les manuels par un écrasement des mathématiques sous les aspects

« Les algorithmes proposés sont des mises en œuvre, propres à la programmation d'objets mathématiques implémentables qui ne permettent globalement pas de faire vivre le concept algorithme comme un objet des mathématiques » (Modeste, 2012, p. 199).

Pour les sujets d'examens, peu d'études ont été menées, cependant Baroux et Prouteau (2012) relèvent aussi dans les sujets du baccalauréat des confusions entre algorithmique mathématique et programme informatique au niveau de la terminologie employée. Citons l'exemple du sujet de métropole du baccalauréat 2012, filière S :

Partie B

Soit (u_n) la suite définie pour tout entier strictement positif par

$$u_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n.$$

1. On considère l'algorithme suivant :

Variables :	i et n sont des entiers naturels. u est un réel.
Entrée :	Demander à l'utilisateur la valeur de n .
Initialisation :	Affecter à u la valeur 0.
Traitement :	Pour i variant de 1 à n , Affecter à u la valeur $u + \frac{1}{i}$
Sortie :	Afficher u .

Donner la valeur exacte affichée par cet algorithme lorsque l'utilisateur entre la valeur $n = 3$.

2. Recopier et compléter l'algorithme précédent afin qu'il affiche la valeur de u_n lorsque l'utilisateur entre la valeur de n .

3. Voici les résultats fournis par l'algorithme modifié, arrondis à 10^{-3}

n	4	5	6	7	8	9	10	100	1000	1500	2000
u_n	0,697	0,674	0,658	0,647	0,638	0,632	0,626	0,582	0,578	0,578	0,577

À l'aide de ce tableau, formuler des conjectures sur le sens de variation de la suite (u_n) et son éventuelle convergence.

FIG. 2. – Baccalauréat français 2012. Sujet du bac S Métropole.

informatiques (au sens numériques). L'algorithmique y serait présente uniquement sous forme de lignes de programmation, dans une approche essentiellement « outil » des algorithmes :

« Les formulations du type « demander à l'utilisateur la valeur de n », ou bien « afficher u », ou bien « saisir un réel », ou bien encore « donner la valeur exacte affichée par cet algorithme lorsque l'utilisateur entre la valeur $n=3$ » évoquent une interface « machine »

(on ne sait pas très bien d'ailleurs où cette machine se situe). Or les algorithmes proposés dans les exercices dont nous parlons peuvent tous être vus comme des procédures, ou « fonctions » au sens informatique du terme, possédant des paramètres (valeurs reçues en entrée) et un résultat dépendant de ces paramètres (valeur produite en sortie). Il n'y a donc pas de raison dans ces cas précis d'introduire dans leur écriture du vocabulaire lié à l'utilisation d'une machine (instructions dites « d'entrées / sorties »), qui peuvent entretenir dans l'esprit des élèves une confusion entre algorithme « idéal » et programme concret » (Baroux & Prouteau, 2012).

Même si ces travaux semblent confirmer nos résultats, nos entretiens avec les enseignants sont à compléter par des observations tant des pratiques de classe que des travaux et activités des élèves. Nous précisons ci-dessous d'autres limites de notre étude ainsi que nos perspectives.

La population expérimentale est ici trop petite pour généraliser les représentations dégagées à celles des enseignants de mathématiques de classe de seconde. Enfin, les enseignants interrogés avaient une longue ancienneté (plus de 10 ans d'expérience). Cette variable « ancienneté » dans le métier peut influencer également le rapport de l'enseignant à l'algorithmique et conduire ainsi à d'autres résultats avec des enseignants plus jeunes.

Nous avons fait l'hypothèse qu'au-delà de générer des pratiques différentes, identifier l'algorithmique à l'informatique et au monde des technologies pourrait créer des résistances chez les enseignants de mathématiques, à l'image de celles qu'ils opposent aux TIC et que de nombreuses études attestent aujourd'hui. Ces hypothèses interrogent d'emblée les formations et l'approche qu'elles adoptent. Nos perspectives de recherche portent ainsi sur l'observation de formations et de leurs effets sur les pratiques. Si les représentations peuvent jouer un rôle crucial dans l'adhésion ou non des enseignants à un enseignement de l'algorithmique, il semble alors que l'approche adoptée quant aux contenus de formations en algorithmique le serait tout autant pour que les enseignants adhèrent à cet enseignement. Une formation axée sur des aspects techniques, des langages de programmation, inscrivant l'algorithmique exclusivement du côté informatique, sans mise en exergue de ce qui relève de l'activité mathématique par rapport à ce qui relève du monde de la programma-

tion n'aiderait pas les enseignants à trouver légitimité à enseigner l'algorithmique et ne semble donc pas une bonne « accroche ». À l'inverse, une formation à l'enseignement de l'algorithmique située dans une approche minimisant la *distance* aux mathématiques habituelles, aura plus de chance de créer de nouvelles pratiques (qui immanquablement s'ouvriront par la suite d'elles-mêmes à la programmation) et d'éviter que ces instructions officielles restent sans grand impact...

NOTES

1. Le nom même étymologique d'« algorithme » (du mathématicien Al-Khwarizmi) porte en lui le lien historique et épistémologique que la notion entretient avec l'algèbre (Al-Khwarizmi est considéré comme un fondateur de l'algèbre par ses écrits sur la résolution d'équations polynomiales des 1^{er} et 2nd degrés par une succession d'étapes de calculs à effectuer).
2. « Une variable informatique est une mémoire effaçable désignée pour recevoir des valeurs successives » (Nguyen, 2005, p. 112).

RÉFÉRENCES

- Artigue, M. (2002). Learning Mathematics in a cas Environment: The Genesis of a Reflection about Instrumentation and the Dialectics between Technical and Conceptual Work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7, 245-274.
- Baron, G.-L., & Bruillard, E. (2001). Une didactique de l'informatique ? *Revue Française de Pédagogie*, 135, 163-172.
- Baroux, D., & Prouteau, C. (2012). À propos des exercices d'algorithmique du bac S 2012. *Chantiers de Pédagogie Mathématique de l'APMEP*, (154). Repéré à [http://www.apmep-iledefrance.org/notre-bulletin-les-chantiers/n-154-en-ligne/algorithmique-au-bac-s-2012].
- Briant, N. (2013). *Étude didactique de la reprise de l'algèbre par l'introduction de l'algorithmique au niveau de la classe de seconde du lycée français* (Thèse de doctorat, université Montpellier 2, Montpellier, France).
- Darricarrère, J., & Bruillard, E. (2010). Utilisation des TIC par des professeurs de mathématiques de collège : discours et représentations. *Bulletin de la Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences*, (39), juin 2010. Repéré à [http://www.sens-neuchatel.ch/bulletin/fr-bull.htm].
- Haspekian, M. (2014). Teachers' practices and professional geneses with ICT. *Research Journal of Mathematics and Technology*, 3(1), 96-106.
- Haspekian, M., & Nijimbéré, C. (2012). Les enseignants face à l'entrée de l'algorithmique dans l'enseignement des mathématiques au lycée. Dans M. Gandit & B. Grugeon (dir.), *Actes du 19e colloque de la CORFEM* (p. 265-285). IUFM Franche-Comté, juin 2012.
- Haspekian, M. (2005). *Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques, Étude du cas des tableurs* (Thèse de doctorat, université Paris Diderot, Paris, France). Repéré à [http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011388/en/].
- Knuth, D. E. (1985). Algorithmic thinking and mathematical thinking. *The American Mathematical Monthly*, 92(1), 170-181.
- Modeste, S. (2012). *Enseigner l'algorithmique pour quoi ? Quelles nouvelles questions pour les mathématiques ? Quels apports pour l'apprentissage de la preuve ?* (Thèse de doctorat, université Joseph Fourier, Grenoble, France).
- Modeste, S., Gravier, S., & Ouvrier-Buffer, C. (2010). Algorithmique et apprentissage de la preuve. *Repères-Irem*, (79).
- Nguyen, C.-T. (2005). *Étude didactique de l'introduction d'éléments d'algorithmique et de programmation dans l'enseignement mathématique secondaire à l'aide de la calculatrice* (Thèse de doctorat, université Joseph Fourier, Grenoble, France).
- Nijimbere, C. (2011). *L'enseignement de l'algorithmique en classe de seconde en France : étude exploratoire* (Mémoire tutoré de Master 2, ENS Cachan, Cachan, France).
- Rogalski, J. (1985). Alphabétisation informatique. *Bulletin APMEP*, (347), 61-74.
- Samurçay, R. (1985). Signification et fonctionnement du concept de variable informatique chez des élèves débutants. *Educational Studies in Mathematics*, 16(2), 143-161.

ANNEXE 1. QUELQUES EXTRAITS DES PROGRAMMES

Les programmes commencent par placer l'algorithmique de façon transversale aux autres parties du programme de mathématiques mais après en avoir affirmé, sans s'étendre, sa place originelle dans l'activité mathématique, ils se tournent tout de suite vers un environnement technologique : calculatrice et tableurs sont très vite mentionnés.

Le mot « programme » vient ensuite mais immédiatement on ajoute « aucun langage, aucun logiciel n'est imposé » et on répète que l'algorithmique a une place naturelle dans tous les champs des mathématiques et que cet enseignement doit donc s'intégrer dans les autres parties du programme. Cependant, dans ce qui suit, à nouveau c'est l'aspect « programmation » qui prend le devant de la scène et qui est mis en avant dans les deux lignes du tableau donnant les contenus d'algorithmique à enseigner.

Les capacités attendues dans le domaine de l'algorithmique d'une part et du raisonnement d'autre part, sont transversales et doivent être développées à l'intérieur de chacune des trois parties.

[...]

La démarche algorithmique est, depuis les origines, une composante essentielle de l'activité mathématique. Au collège, les élèves ont rencontré des algorithmes (algorithmes opératoires, algorithme des différences, algorithme d'Euclide, algorithmes de construction en géométrie). Ce qui est proposé dans le programme est une formalisation en langage naturel propre à donner lieu à traduction sur une calculatrice ou à l'aide d'un logiciel. Il s'agit de familiariser les élèves avec les grands principes d'organisation d'un algorithme : gestion des entrées-sorties, affectation d'une valeur et mise en forme d'un calcul.

Dans le cadre de cette activité algorithmique, les élèves sont entraînés :

à décrire certains algorithmes en langage naturel ou dans un langage symbolique ;

à en réaliser quelques-uns à l'aide d'un tableur ou d'un petit programme réalisé sur une calculatrice ou avec un logiciel adapté ;

à interpréter des algorithmes plus complexes.

Aucun langage, aucun logiciel n'est imposé.

L'algorithmique a une place naturelle dans tous les champs des mathématiques et les problèmes posés doivent être en relation avec les autres parties du programme (fonctions, géométrie, statistiques et probabilité, logique) mais aussi avec les autres disciplines ou la vie courante.

À l'occasion de l'écriture d'algorithmes et de petits programmes, il convient de donner aux élèves de bonnes habitudes de rigueur et de les entraîner aux pratiques systématiques de vérification et de contrôle.

Instructions élémentaires (affectation, calcul, entrée, sortie).

Les élèves, dans le cadre d'une résolution de problèmes, doivent être capables : d'écrire une formule permettant un calcul ;

d'écrire un programme calculant et donnant la valeur d'une fonction ; ainsi que les instructions d'entrées et sorties nécessaires au traitement.

Boucle et itérateur, instruction conditionnelle

Les élèves, dans le cadre d'une résolution de problèmes, doivent être capables : de programmer un calcul itératif, le nombre d'itérations étant donné ;

de programmer une instruction conditionnelle, un calcul itératif, avec une fin de boucle conditionnelle.

Extraits des programmes de 2^{de} générale et technologique (BO n°30 du 23 juillet 2009)

ANNEXE 2. GRILLE D'ANALYSE DES ENTRETIENS ENSEIGNANTS

Identification / enseignant	Âge	
	Ancienneté	
	Formation	
Représentations de l'algorithmique qui se dégagent du discours	Éléments du discours indiquant comment est perçue l'algorithmique, comment est perçu son enseignement (une approche mathématique <i>versus</i> une approche informatique) ; comment est pensée la relation mathématiques-informatique elle-même (opposition <i>versus</i> intégration) ; la présence ou non de confusions « informatique / ordinateurs », plus généralement comment est pensée l'informatique (discipline en soi versus matériel technologique).	
Pratiques enseignantes	Ressources pour préparer une leçon relative à l'algorithmique.	
	Manuels utilisés.	
	Critères de choix d'activités introductives d'une leçon.	
	Langage / logiciel.	
	Critères de choix des exercices de classe / devoir maison.	
	Types / difficultés / élèves.	
	Types / difficultés / enseignants.	
	Modes d'évaluation et notation.	